



***Plan Hidrológico de la parte  
española de la demarcación  
hidrográfica del Duero.  
2015-2021***

**Anejo 2 Inventario de recursos hídricos**

**Apéndice III Procedimientos para la estimación de  
balances en las masas de agua subterránea**



***PLAN HIDROLÓGICO DE LA PARTE ESPAÑOLA DE LA DEMARCACIÓN  
HIDROGRÁFICA DEL DUERO (2015-2021)***

***Anejo 2 – INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS  
NATURALES***

***Apéndice III –PROCEDIMIENTOS PARA LA ESTIMACIÓN  
DE BALANCES EN LAS MASAS DE AGUA  
SUBTERRÁNEA***

**ÍNDICE**

<b>1. ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>11</b>
<b>2. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE .....</b>	<b>13</b>
2.1. Piezometría .....	13
2.2. Recarga de lluvia .....	19
2.3. Extracciones. ....	20
2.4. Aforos. ....	20
<b>3. BALANCE. ....</b>	<b>25</b>
3.1. Régimen natural.....	25
3.2. Régimen alterado.....	26
3.3. Situación actual y tendencia .....	27

### INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla resumen con los resultados de los análisis de piezometría, agrupados por MAS (UMod en su caso), y diferenciados según la profundidad, y en ocasiones la cota, de los piezómetros. .... 15

Tabla 2: Resultados del análisis de aforos, en hm<sup>3</sup>. Los valores negativos significan pérdidas, los positivos ganancias. .... 23

### ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Series de nivel piezométrico en la Unidad de Modelación Arenales Eresma-Cega para los piezómetros ubicados en el rango de profundidad 100-200 metros..... 14

Ilustración 2 Serie de infiltración total anual, y media móvil de 5 años de la misma, para el periodo 1940-2006..... 19

Ilustración 3 Estimación de la evolución de las extracciones en el acuífero terciario de la cuenca del Duero 20

Ilustración 4 Mapa de la zona donde se ubica el tramo 9 del río Duero. .... 21

Ilustración 5 Diferencia de aforos mensuales de los meses de verano entre las estaciones de aforo 2066 y 2062 del río Duero..... 22

Ilustración 6 Balance general del acuífero en régimen natural. .... 26

Ilustración 7 Serie de entradas (infiltración por agua de lluvia y transferencias laterales) y extracciones en el periodo 1940-2006. .... 26

**ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS UTILIZADOS**

AAUU .....	Aglomeraciones Urbanas
AEAS .....	Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento
AEMET.....	Agencia Estatal de Meteorología
AGUA.....	Programa del Ministerio de Medio Ambiente para desarrollar Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua
ALBERCA .....	Programa del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino para agilizar y normalizar la tramitación de derechos de uso privativo del agua en las Confederaciones Hidrográficas
AQUATOOL....	Conjunto de herramientas informáticas para el estudio de la distribución cualitativa y cuantitativa de los recursos hídricos, de uso habitual en la planificación hidrológica, desarrollado por el Instituto de Ingeniería del Agua y el Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia
ARHN.....	<i>Administração da Região Hidrográfica do Norte, I.P.</i>
BOCYL .....	Boletín Oficial de Castilla y León
BOE .....	Boletín Oficial del Estado
CADC.....	Comisión para la Aplicación y Desarrollo del Convenio de Albufeira
CAE .....	Coste Anual Equivalente
CAS .....	<i>Chemical Abstracts Service</i> . El número CAS es una identificación única para compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones.
CCAA.....	Comunidades Autónomas
CCRR .....	Comunidades de Regantes
CE .....	Comunidad Europea
CEDEX .....	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CEE .....	Comunidad Económica Europea
CEH.....	Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX
CES.....	Consejo Económico y Social de Castilla y León
CHD.....	Confederación Hidrográfica del Duero
CIRCA .....	Administrador del Centro de Recursos de Comunicación e Información
CIC .....	Consejo Internacional de Coordinación (UNESCO)
CIS.....	Estrategia Común europea de Implantación de la DMA
CNAE.....	Clasificación Nacional de Actividades Económicas
COAS .....	Red de Control de la Calidad del Agua destinada al Abastecimiento
COCA.....	Red de Control de la Calidad del Agua
CORINE .....	Proyecto CORINE- <i>Land Cover</i> , cuyo objetivo es la creación de una base de datos sobre uso del suelo en Europa a escala 1:100.000
CR .....	Condición de Referencia
DA.....	Demanda agraria
DBO <sub>5</sub> .....	Demanda de oxígeno por procesos biológicos en cinco días
DG.....	Dirección General
DGA.....	Dirección General del Agua del MARM
DH.....	Demarcación Hidrográfica
DHD.....	Demarcación Hidrográfica del Duero
DIA.....	Declaración de Impacto Ambiental
DM .....	Demanda mensual

DMA .....	Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Directiva Marco del Agua
DOCM .....	Diario Oficial de Castilla – La Mancha
DOGA.....	Diario Oficial de Galicia
DOCE.....	Diario Oficial de la Comunidad Europea
DOUE.....	Diario Oficial de la Unión Europea
DP .....	Demanda para acuicultura
DPH.....	Dominio Público Hidráulico
DQO.....	Demanda química de oxígeno
DU .....	Demanda urbana
EA .....	Estación de Aforo
EAE .....	Evaluación Ambiental Estratégica
EC .....	Comisión Europea
ECOFIN .....	<i>Economic and Financial Affairs Council</i> del Consejo de la UE
EDAR.....	Estación depuradora de aguas residuales
EFQM.....	<i>European Foundation for Quality Management</i>
EIA .....	Estudio de Impacto Ambiental
EMP.....	Estación de Muestreo Periódico
ENP .....	Espacio Natural Protegido
EQR .....	<i>Ecological Quality Ratio</i>
ETI .....	Esquema de temas importantes en materia de gestión de las aguas en la demarcación
ETP.....	Evapotranspiración Potencial
ETR .....	Evapotranspiración Real
FEADER .....	Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural
FEMP .....	Federación Española de Municipios y Provincias
FMI.....	Fondo Monetario Internacional
Hab_eq.....	Habitantes equivalentes
HH.....	Huella Hídrica
HPU .....	Hábitat Ponderado Útil
IAH.....	Índice de Alteración Hidromorfológica
IBMWP .....	<i>Iberian Biological Monitoring Working Party</i> . Indicador de calidad de los ríos a partir de la fauna bentónica macroinvertebrada
ICONA.....	Instituto para la Conservación de la Naturaleza
ICA .....	Red integrada de calidad de las aguas
IDE .....	Infraestructura de Datos Espaciales
IDEE .....	Infraestructura de Datos Espaciales de España
IGA.....	Índice de Grupos Algales
IGME .....	Instituto Geológico y Minero de España
IGN.....	Instituto Geográfico Nacional
IHF .....	Índice de Hábitat Fluvial
IMDEA .....	Instituto Madrileño de Estudios Avanzados
INAG.....	Instituto Nacional del Agua de Portugal
INE .....	Instituto Nacional de Estadística
INSPIRE.....	Directiva 2007/2/CE, por la que se crea la infraestructura europea de datos espaciales

INZH.....	Inventario Nacional de Zonas Húmedas.
IPH .....	Instrucción de planificación hidrológica, aprobada por la orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre.
IPPC.....	Actividades industriales y agrícolas con un elevado potencial de contaminación, contempladas en la Directiva 2008/1/CE, relativa a la prevención y control integrados de la contaminación.
IPS.....	Índice de polousensibilidad específica
ISA .....	Informe de sostenibilidad ambiental
ISBN.....	<i>International Standard Book Number</i>
IUCN.....	Unión Mundial para la Naturaleza
JCyL.....	Junta de Castilla y León
LAAP .....	Libro de Aguas Privadas
LIC .....	Lugar de Importancia Comunitaria
LIDAR .....	<i>Light Detection and Ranging</i>
LINDE .....	Proyecto de delimitación del dominio público hidráulico y de sus zonas inundables
MAAA .....	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
MAB .....	Programa “El Hombre y la Biosfera” de la UNESCO.
MAEC .....	Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación
MAGRAMA ....	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
MAOTDR .....	<i>Ministerio do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional</i> (administración portuguesa)
MAP.....	Ministerio de Administraciones Públicas
MAPA .....	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MARM.....	Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino
MAS.....	Masa de Agua Subterránea
MD .....	Margen derecha
MDT .....	Modelo digital del terreno
MEH .....	Ministerio de Economía y Hacienda
MI.....	Margen izquierda
MICyT .....	Ministerio de Industria, Comercio y Turismo
MMA.....	Ministerio de Medio Ambiente
MPT.....	Ministerio de Política Territorial
MSC.....	Ministerio de Sanidad y Consumo
MSPS.....	Ministerio de Sanidad y Política Social
N .....	Nitrógeno
NCA.....	Norma de Calidad Ambiental
OCM .....	Organización Común de Mercados
OM .....	Orden Ministerial
OMA .....	Objetivo ambiental
OMC .....	Organización Mundial del Comercio
OPH .....	Oficina de Planificación Hidrológica
P .....	Fósforo
PAC .....	Política Agraria Común
PANER .....	Plan de Acción Nacional de Energías Renovables
PER.....	Plan de Energías Renovables

PES .....	Plan Especial de actuación ante situaciones de alerta y eventual Sequía
PH .....	Plan Hidrológico
PHABSIM .....	Simulación del hábitat físico. Metodología para la estimación de regímenes de caudales ecológicos
PHD .....	Plan Hidrológico del Duero
PHN .....	Plan Hidrológico Nacional
PIB.....	Producto Interior Bruto
PNC .....	Plan Nacional de Calidad de las aguas
PNOA.....	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
PNR .....	Plan Nacional de Regadíos
QBR .....	Índice de vegetación de ribera
RCE .....	Ratio de Calidad Ecológica
RD .....	Real Decreto
RDPH.....	Reglamento del Dominio Público Hidráulico
REE .....	Red Eléctrica Española
REGRI .....	Reglamento de Evaluación y Gestión del Riesgo de Inundación
RN2000 .....	Red Natura 2000
RNF .....	Reserva Natural Fluvial
ROEA.....	Red Oficial de Estaciones de Aforo
RP.....	Riegos particulares
RPH .....	Reglamento de la Planificación Hidrológica (RD 907/2007, de 6 de julio)
RUENA.....	Red de Uso Eficiente del Nitrógeno en Agricultura ( <a href="http://www.ruena.csic.es">www.ruena.csic.es</a> )
RZP.....	Registro de Zonas Protegidas
SAICA .....	Sistema Automático de Información de Calidad del Agua
SAIH .....	Sistema Automático de Información Hidrológica
SE.....	Sistema de Explotación
SEA.....	Sociedad Estatal de Agua
SEIASA.....	Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias
SEPRONA.....	Servicio de Protección de la Naturaleza
SGPyUSA .....	Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua, de la DGA del MARM
SIG .....	Sistema de Información Geográfica
SIMGES .....	Modelo que simula la gestión de los sistemas de explotación permitiendo la realización de balances. Es un módulo de la herramienta AQUATOOL
SIMPA .....	Modelo de evaluación de recurso desarrollado por el CEH del CEDEX que simula la transformación de la precipitación en aportación
SIOSE.....	Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España
tep.....	Tonelada equivalente de petróleo, en la producción hidroeléctrica viene a corresponder con una energía de 0,086 MWh
TRLA .....	Texto Refundido de la Ley de Aguas. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, con las modificaciones de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social
UDA.....	Unidad de Demanda Agraria
UDU.....	Unidad de Demanda Urbana
UE .....	Unión Europea
UEDA.....	Unidad Elemental de Demanda Agraria

UNESCO .....	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UPV .....	Universidad Politécnica de Valencia
UTA .....	Unidad de Trabajo Año
VAB .....	Valor Añadido Bruto
VMA .....	Valor Medio Anual
WISE .....	Sistema de Información del Agua para Europa
ZEC .....	Zona Especial de Conservación
ZEPA.....	Zona de Especial Protección de las Aves
ZR .....	Zona Regable

## UNIDADES DE MEDIDA USADAS EN EL DOCUMENTO<sup>1</sup>

### UNIDADES BÁSICAS

- Metro: m
- Kilogramo: kg
- Segundo: s

### UNIDADES DERIVADAS CON NOMBRES ESPECIALES

- Vatio: W
- Voltio: V

### UNIDADES ESPECIALES

- Litro: l
- Tonelada: t
- Minuto: min
- Hora: h
- Día: d
- Mes: mes
- Año: año
- Área: a, 100 m<sup>2</sup>

### OTRAS UNIDADES

- Euro: €

### MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS

- Tera: T, por 1.000.000.000.000
- Giga: G, por 1.000.000.000
- Mega: M, por 1.000.000
- Kilo: k, por 1.000
- Hecto: h, por 100
- Deca: da, por 10
- Deci: d, dividir por 10
- Centi: c, dividir por 100
- Mili: m, dividir por 1.000
- Micro:  $\mu$ , dividir por 1.000.000
- Nano: n, dividir por 1.000.000.000

### MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS ESPECIALES

- Parte por millón: ppm, equivale a 1 parte entre 1.000.000
- Parte por billón: ppb, equivalente a 1 parte entre 1.000.000.000

Los símbolos no van seguidos de punto, ni toman la “s” para el plural.

---

<sup>1</sup> Para la adopción de estas nomenclaturas se ha atendido al Real Decreto 2032/2009, de 30 de diciembre, por el que se establecen las unidades legales de medida en España.

Se utilizan superíndices o la barra de la división.

Como signo multiplicador se usa el punto (·) o, preferentemente, no se utiliza nada.

Ejemplos:

- $m^3/s$ , metros cúbicos por segundo
- $hm^3/año$ , hectómetros cúbicos por año
- kWh, kilovatios hora
- MW, megavatios
- mg/l, miligramos por litro
- $m^3/ha \cdot año$ , metros cúbicos por hectárea y año



## 1. ASPECTOS GENERALES

En la cuenca del Duero, el principal dominio hidrogeológico está formado por un conjunto de masas de agua subterránea de naturaleza detrítica que rellena una gran depresión limitada por materiales semipermeables. Su extensión ocupa casi la totalidad de la cuenca, y su espesor medio oscila en torno a los 1.000 metros, alcanzando los 4.000 metros en algunas zonas. En este sentido, la consideración de las aguas subterráneas y sus relaciones con las aguas superficiales se antoja fundamental para abordar con éxito cualquier política de gestión en la cuenca del Duero.

Por otro lado, los acuíferos en la zona central de la cuenca del Duero han sido sometidos durante las últimas décadas a una explotación intensiva principalmente ligada al desarrollo de la agricultura. Las zonas donde la explotación de las aguas subterráneas ha sido mayor se ubica alrededor de los tramos medio y bajo del Duero.

Son numerosos los trabajos realizados acerca de las aguas subterráneas del Duero, mayoritariamente centrados en aspectos hidrogeológicos, pero descuidando su relación con los cauces superficiales. Dichos trabajos no abarcan la totalidad del sistema-acuífero y son incompletos para un análisis conjunto del sistema Duero, además se observa gran disparidad entre los balances proporcionados por cada uno de ellos.

De acuerdo con dicha información y con trabajos previos de modelación subterránea se ha diseñado y calibrado un modelo de simulación del flujo subterráneo en diferencias finitas haciendo uso del método de los autovalores y el software correspondiente “Aquival” que forma parte del software Aquatool ([www.upv.es/aquatool](http://www.upv.es/aquatool)) el cual también es utilizado para el cálculo de balances del sistema superficial. Este modelo de flujo en el acuífero ha sido integrado dentro del modelo de simulación general del funcionamiento de la cuenca con el cual se han calculado los balances en los diferentes escenarios de planificación.



## 2. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Se han revisado todos los antecedentes disponibles sobre el funcionamiento de los acuíferos del Duero. De todos ellos se ha prestado más atención a los siguientes.

“Integración de las Masas de Agua Subterráneas en el Modelo de Gestión de la Cuenca Hidrográfica del Duero”, desarrollado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) para la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD), 2007

“Modelación Hidrogeológica Esquemática de la Cuenca del Duero”, desarrollado por EPTISA S.A., para la Oficina de Planificación Hidrológica (OPH) en el año 2006

“Mapa Geológico de Síntesis de la Cuenca del Duero”, a escala 1/500.000, realizado por Pineda, Nozal, Montes, López-Olmedo y Martín-Serrano, 2006

“Estudio del Sistema de Utilización Conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de las cuencas del Cega-Pirón y Adaja-Eresma”, desarrollado por PROINTEC S.A. para la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, (DGOHCA) en el año 2002

Además se ha trabajado directamente sobre los datos disponibles de piezometría, infiltración, extracciones y afloros para ajustar unos balances coherentes que validen los diferentes datos y ayuden a comprender el flujo del agua subterránea en el Duero. A continuación se resume el análisis de datos realizado.

### 2.1. Piezometría.

El análisis de la piezometría de los niveles acuíferos de las masas de agua subterránea (MAS) pretende comprender el estado actual y la evolución de los niveles piezométricos, intentando buscar la relación entre el comportamiento de la piezometría y los patrones que la rigen.

Se ha trabajado con una base de datos de piezometría que consta de 55.413 registros procedentes de piezómetros de la cuenca del Duero, y otros datos asociados a los mismos como coordenadas, profundidad, cota... Se trata de una recopilación de datos de piezometría de diversas fuentes: CHD, Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino (MARM), IGME, Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario (IRYDA) y el, hoy extinto, Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP).

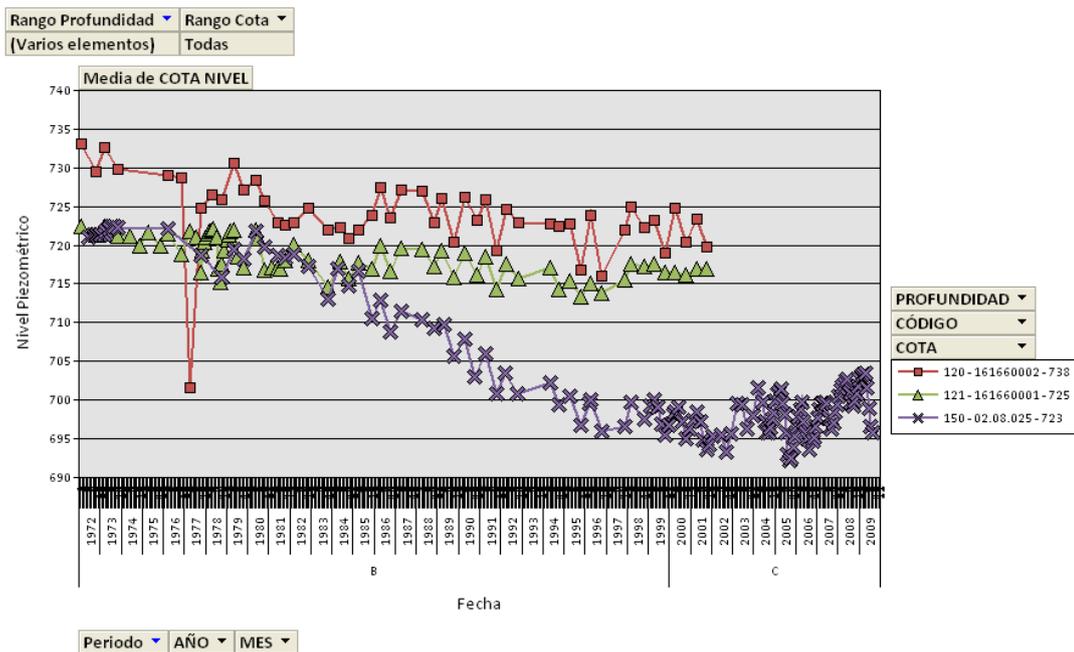
Se ha estudiado el estado y la evolución de los niveles piezométricos hasta la actualidad. La finalidad última es la integración de los resultados con el resto de los análisis para la comprensión global del funcionamiento del conjunto de acuíferos.

Los datos disponibles son series temporales de nivel relativo, que han sido transformadas a nivel piezométrico s.n.m.m. La serie más larga disponible para esta zona data de 1966, no obstante las series con comienzo en ese año cuentan con muy pocos datos hasta 1972. Por otro lado, para muchos de los piezómetros cuya serie comienza en 1972 la serie termina en 2001, por lo que a partir de 2001 el número de piezómetros de que se dispone de datos es menor, aunque con una frecuencia mayor.

Aún así, existen importantes limitaciones, debido a que los datos disponibles son en ocasiones insuficientes para una correcta interpretación del comportamiento del acuífero, como por ejemplo para analizar lo ocurrido en las últimas décadas, ya que la mayoría de los registros finaliza en el año 2001. Además, la propia heterogeneidad de los materiales obliga a disponer de muchos datos, ya que se necesitan piezómetros a diferentes profundidades y con series de datos de la mayor temporalidad posible (al menos para diferenciar los escenarios anterior y posterior a las afecciones). Otro inconveniente es la incertidumbre asociada a los mismos, ya que en muchas ocasiones se carece de información acerca del estado de los piezómetros que toman los registros, de si se trata de piezómetros, sondeos, pozos...

A modo de ejemplo se muestran a continuación los piezómetros en una zona en que se identifica un piezómetro con descensos importantes, seguidos de una estabilización.

**Ilustración 1** Series de nivel piezométrico en la Unidad de Modelación Arenales Eresma-Cega para los piezómetros ubicados en el rango de profundidad 100-200 metros.



Se ha realizado una revisión general de todos los piezómetros filtrando por zonas y profundidades para tratar de comprender el comportamiento general del acuífero. Como resumen del estudio de piezometrías se presenta la siguiente tabla con los resultados de los análisis de piezometría para cada MAS (Tabla 1). En ella están agrupados los resultados por MAS (UMod en su caso), y diferenciados según la profundidad de los piezómetros, y también según la cota a la que se ubican en aquellas ocasiones en las que el comportamiento varía claramente a partir de una determinada cota.

La tabla se lee de izquierda a derecha, de modo que para unas condiciones dadas se agrupan los piezómetros por tendencias. En la mayoría de los casos los piezómetros siguen varias tendencias dentro de cada situación, que se representan seguidamente a la anterior junto con la denominación de los piezómetros correspondientes. En la última de las columnas, denominada “Periodo 1999-2009”, se exponen aquellos casos en los que la tendencia a partir de este periodo cambia, un fenómeno que se ha apreciado en bastantes de los piezómetros.

**Tabla 1: Tabla resumen con los resultados de los análisis de piezometría, agrupados por MAS (UMod en su caso), y diferenciados según la profundidad, y en ocasiones la cota, de los piezómetros.**

MAS/Umod	División en profundidad	Otras divisiones (cota)	Tendencia / Grupo 1	Piezómetros 1	Tendencia / Grupo 2	Piezómetros 2	Tendencia / Grupo 3	Piezómetros 3	Periodo 1999-2009
Tierra del Vino Guareña	< 100 m	Por encima de 800 m.s.n.m.	Estabilidad en cotas altas	151960001, 141820002					
		Por debajo de 800 m.s.n.m.	Descensos (4-5 m)	151650002, 131630011, 131640045, 141710002 y 141840001					
	100-200 m		Descensos en la mayoría de los piezómetros, de unos 5-8 metros	151950001, 131660005, 141930005	151810001 descenso de hasta 28 metros	151810001			
	200 m <		Grupo principal con descensos totales entre los 20 y los 40 metros	151750001, 02.17.063, 141940001	Tres piezómetros con descensos menores (10 m)	141720004, 141930002 Y 141930006	Grupo con tendencia estable, quizás anómala	02.17.061, 02.17.066, 141930004 y 141980001	Tendencia estable a todas las profundidades, con oscilación anual de hasta 15 metros
Medina del Campo Adaja-Zapardiel	< 100 m		Descensos que oscilan entre 7 y 15 m	161940001, 161660003, 151940003	Descensos que llegan a los 50 metros, como mínimo de 35 m	151740001, 151870002, 151820001	Tendencia estable	161720001, 161830012	Por encima de 800 m.s.n.m. estable
	100-200 m		Descensos que oscilan entre 10 y 20 m	151780002, 161770002, 02.17.079, 151670002	Descensos medios en torno a 30 o 40 m	151740002, 151930001, 151680001	Tendencia estable	161880001, 161830001, 151930002, 161930001	Por debajo de 800m: estabilización a partir de 1998 y comienzo de recuperación (9 metros) a partir de 2005. Más notable (hasta 25 m) en los de mayores descensos (y generalmente más profundos)
	200 <		Descensos mayores de 30 m (Grupo más mayoritario)	151730002, 161830002, 02.17.073	Descensos menores de 30 m	161850001, 151640002			
Arenales Eresma-Cega	< 100 m	por encima de 740 msnm	Estable, quizás pequeños descensos (menos de 5 m) Piezómetros muy superficiales	S-197, 161840001					Estabilización a partir de 1998 y comienzo de recuperación a partir de 2005. Variable según profundidad y cota
		por debajo de 740 m.s.n.m.	Descensos entre 15 y 25 m	161670001, 161630001, 161660003					
	100-200 m		Descendente: 5, 15 y 25 metros de media para los piezómetros 161660001, 161660002 y 02.08.25, respectivamente	161660001, 161660002 y 02.08.25, respectivamente	Estable en caso de no ser anómalo	171760001			
	200 m <	Por encima de 800 m.s.n.m.	Estable, alguno ligeramente descendente (171810001, máximo 5 m)	181720001, 171810001					
Por debajo de 800 m.s.n.m.		Descensos de 20 metros y de más 30 metros	02.17.074, 02.08.026 (máx. descenso)						

ANEJO 2- .APÉNDICE III

MAS/Umod	División en profundidad	Otras divisiones (cota)	Tendencia / Grupo 1	Piezómetros 1	Tendencia / Grupo 2	Piezómetros 2	Tendencia / Grupo 3	Piezómetros 3	Periodo 1999-2009
Zona de los Páramos	< 200 m		Tendencia estable, algún piezómetro oscilaciones descendentes y ascendentes (< 10 metros)	231650001, 161460001, 02.13.011					
	200 m <		Fase 1: descendente 1972-1998--> entre 25 y 40 m. Fase 2: Estabilización a partir de 2005. Fase 3: Recuperación de niveles (hasta 10 metros)	171460017, 02.06.107, 02.08.027, 02.08.024					Recuperación de niveles (hasta 10 metros)
Villafáfila	< 200 m		Algún piezómetro insinúa descensos (5-8 m)	131330003, 02.06.089	Tendencia estable	131460002	Ascenso en el periodo 1982-2001.	131480001, 131420006	
	200 m <		Tendencia estable con ligeras oscilaciones	02.06.090	Fase 1: Descenso (5- 10 m) hasta 2001. Fase 2: Recuperación suave hasta la actualidad (3-4 metros)	02.06.091			
Carrión	Completo 60< Prof.> 250		Tendencia estable	160950001, 02.06.106	Un piezómetro con ascensos en torno a 10 m	160950002			
Tierra de Campos	200 m <	Por encima de 735 m.s.n.m.	Tendencia estable	151060001. 02.06.100, 151170002, 161310001	Descensos de entre 5 metros y 15 metros	151260001, 151230001, 151320001 y 02.06.101.			Solo un piezómetro con registro a partir de 2002 y muestra recuperación
		Por debajo de 735 m.s.n.m.	Tendencia siempre descendente, entre 5 y 15 metros en todos hasta 2001	141460001, 141360023, 151060001, 141440003					Algún pz parece atenuar su descenso ligeramente, pero el único registro completo (02.06.094) desciende
	200 m <	Por encima de 745 m.s.n.m.	Tendencia ascendente, 5 y 10 metros por encima de 890 m.s.n.m ubicados a cotas más altas	150970001, 150970002 y 150970003	Tendencia ascendente, entre 15 y 25 metros entre 740 y 850 m.s.n.m.	141240001, 150960001 y 150960002			
		Por debajo de 745 m.s.n.m.	Tendencia descendente: entre 9 metros (02.06.093) y 25 metros (141320005)	también 141430002 y 02.06.103.					Estabiliza a partir del año 2000
Aluviales Duero: Tordesillas-Zamora	100 m <		Tendencia descendente, entre 10 y 20 metros	161560002 y 161570001	Fase 1: ascenso de 7 metros 1972-1994. Fase 2: Descenso de 10 metros hasta 2005. Fase 3: Recuperación (5 m)	02.06.105			Recuperación en 2005/06
Aluviales del Pisuerga-Arlanzón	120 m <		Tendencia estable	(solo 2 piezómetros) 171270001, 181170001					

ANEJO 2- .APÉNDICE III

MAS/Umod	División en profundidad	Otras divisiones (cota)	Tendencia / Grupo 1	Piezómetros 1	Tendencia / Grupo 2	Piezómetros 2	Tendencia / Grupo 3	Piezómetros 3	Periodo 1999-2009
Tordesillas	< 200 m		Descensos que oscilan entre 10 metros y 30 metros	141580001, 151560002, 141530002, 02.06.104	Tendencia estable	02.06.095 y 151580001	Un piezómetro con ascenso (5-8 m), el menos profundo, 48 m	131480009	Indicios de recuperación en 2002 en el 02.06.104
	200 m <		Descensos mayores que pz prof < 200 m. Descensos de 20m, 30m y 45 m	para 02.06.096, 141570001 y 02.06.07, respectivamente					Indicios de recuperación entre 1997 y 2002 (5-10 m), 02.06.097, 02.06.125, 02.06.071
Ayllón			Descensos de hasta 20 metros	191630001 y 191630002	Tendencia estable	191720001			
Salamanca	< 200 m		Tendencia general estable, con pequeñas oscilaciones ascendentes y descendentes en algunos	142050001, 131720002, 131930002, 131860001					
	200 m <		Tendencia estable, pequeños descensos inferiores a 10 metros (02.19.31)	02.19.032, 131830002, 02.19.31	Insinúan descensos al comienzo de la serie, periodo 1971-1976	141930001, 142070001 y 142030002 (los más profundos)			



La primera conclusión que se obtiene vistos los análisis es la gran heterogeneidad de los materiales del acuífero terciario, reflejada en la disparidad de los registros que muestran los piezómetros. La principal implicación de lo anterior es que la piezometría se comporta de manera diferente en profundidad. En cualquier zona del acuífero seleccionada resulta complicado definir un comportamiento como representativo de la misma, ni explicar en muchos casos su comportamiento en base a unos patrones como la profundidad o la ubicación del mismo. Existen piezómetros cercanos y ubicados a profundidad similar en los cuales los registros son totalmente diferentes, y piezómetros donde las condiciones (profundidad y ubicación) varían y sus registros parecen seguir tendencias similares.

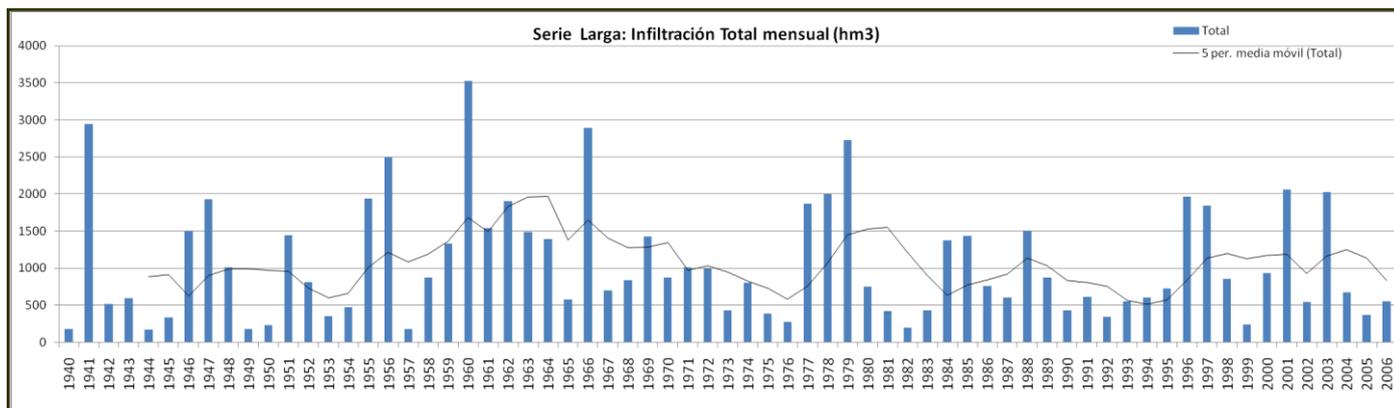
Se podría pensar que existe a grandes rasgos una diferenciación de la piezometría en profundidad en tres niveles; uno superficial desde la superficie hasta 70-85 metros, con mayor nivel piezométrico; un segundo nivel intermedio desde el anterior hasta los 160-250 metros, dependiendo de la zona; y un último nivel profundo, donde se registran los menores niveles piezométricos. Aunque la definición anterior no se cumple en muchos casos dada la propia heterogeneidad de los materiales y la distribución espacial de las extracciones.

Hay una zona donde la concentración de bombeos es sin duda mayor, principalmente en torno a las MAS Arenales y Medina del Campo (algo más centrada hacia el tronco del Duero, por debajo, quizás también por debajo de los páramos), es donde se generan los mayores descensos del nivel piezométrico. En la zona correspondiente a la MAS Tierra del Vino los bombeos son menores, y los descensos que se aprecian en los piezómetros podrían tener que ver con dos factores: La afección de los bombeos intensos de Arenales y Medina del Campo (por eso el descenso es más tenue); la influencia del tramo final del Duero

## 2.2. Recarga de lluvia.

La recarga por filtración de lluvia se obtiene de la simulación del modelo hidrológico SIMPA que se describe y analiza en el apéndice 1. Estos datos han sido analizados observando la recarga por zonas y por periodos de tiempo. Es interesante observar que a lo largo de la serie histórica la recarga ha variado mucho La figura siguiente muestra la serie de infiltración total anual para el periodo 1941-2006.

**Ilustración 2 Serie de infiltración total anual, y media móvil de 5 años de la misma, para el periodo 1940-2006**



Los valores oscilan entre 4000 y 100 hm<sup>3</sup>/año, con valores medios en el rango entre 300 y 1500 hm<sup>3</sup>/año. Obviando aquellos valores extremos por encima y por debajo, correspondientes a significativamente más húmedos y secos, se pueden intuir tres fases a lo largo de la serie:

- la primera fase desde el comienzo hasta 1958, con valores medios en torno a 500 hm<sup>3</sup>/año, donde la irregularidad es muy grande y se suceden años secos y húmedos, estos últimos de magnitud hasta cuatro veces mayor que la media.
- posteriormente se suceden 15 años con valores sustancialmente más húmedos, hasta aproximadamente 1974, con valores medios alrededor de 1100-1200 hm<sup>3</sup>/año. La variabilidad en este periodo es menor. Este periodo se podría interpretar que comienza en 1954 y termina en 1980.
- el tercer y último periodo transcurre desde 1980 hasta la actualidad, coincidente con la denominada “serie corta” donde los valores oscilan alrededor del valor central 600 hm<sup>3</sup>/año, aproximadamente, y máximos y mínimos entre 2100 y 200 hm<sup>3</sup>/año, respectivamente.

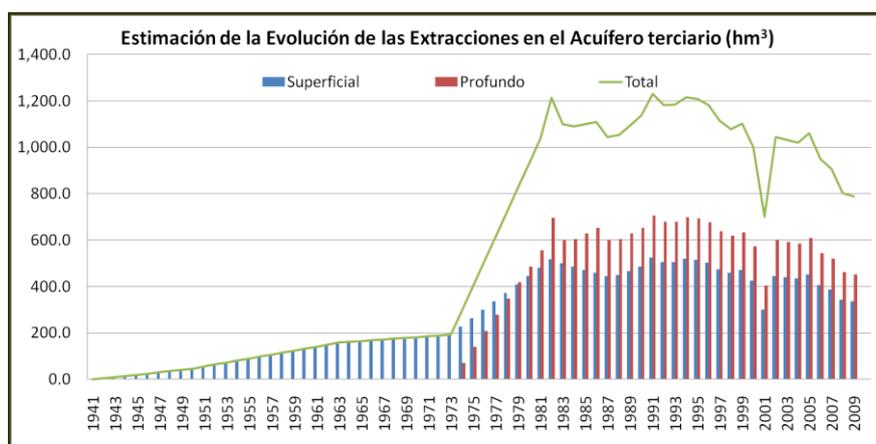
Las diferencias entre las denominadas series corta y larga son de sobra conocidas, y se hacen patentes en la serie. No obstante, lo que más llama la atención a primera vista es la infiltración en el primer periodo, probablemente la más baja de toda la serie, ya que parece ser inferior incluso a la del último periodo. Siendo así, las verdaderas diferencias entre las series larga y corta podrían deberse realmente al periodo 1954-1980, unas diferencias que estarían incluso enmascaradas por el periodo 1940-1954.

### 2.3. Extracciones.

Se han estudiado las extracciones históricas estimadas en la cuenca del Duero con la finalidad de profundizar en el conocimiento de las extracciones que afectan directamente al acuífero terciario, diferenciándolas en superficiales y profundas según se den a profundidad menor o mayor de 200 metros. Además, en base a los datos disponibles y a los trabajos antecedentes, se obtiene una estimación posible de la evolución de las mismas desde condiciones no alteradas hasta la actualidad.

La mayoría de la información de que se dispone es a través de fuentes indirectas, como concesiones de riego, censos agrarios, estimaciones de superficie cultivada, inventarios de superficie regada, datos de fotointerpretación de imágenes de satélite, u otros trabajos. Se trabaja con superficies de cultivo estimadas a las que se asigna una dotación para el cálculo del volumen total de agua. El cálculo de ésta dotación es también una estimación en función a los requerimientos hídricos de cada especie de cultivo y las superficies de los mismos. Finalmente se ha obtenido una evolución histórica de los bombeos que se refleja en la figura siguiente.

**Ilustración 3 Estimación de la evolución de las extracciones en el acuífero terciario de la cuenca del Duero**



El gráfico muestra varios puntos de inflexión bruscos que obviamente no se corresponden con el modo en que las extracciones aumentan en realidad, pero en líneas generales la evolución es coherente, ya basándose en mediciones oficiales (indirectas) refleja bastante bien procesos de los que se tiene constancia anteriormente, por ejemplo en la piezometría. Entre estos procesos, por ejemplo, el gran incremento de las extracciones en torno a los años 70, la expansión de las extracciones profundas en torno a esa época, probablemente provocado por la disminución del rendimiento de las extracciones más superficiales, o la disminución de las extracciones de la última década.

### 2.4. Aforos.

Dada la complejidad del acuífero terciario y lo difícil que supone obtener información acerca de las relaciones río-acuíferos en base a la piezometría, el trabajo con datos de aforo es de gran interés y arrojar importante información acerca de esta conexión.

La estimación de la descarga/recarga del acuífero con respecto a los principales ríos de la cuenca es básico para comprender y dimensionar los diferentes términos del balance. Además, los trabajos anteriores apuntan a una gran alteración en el tiempo, cualitativa y cuantitativa, de la conexión río-acuífero con motivo de las fuertes extracciones de la zona.

La finalidad del análisis es deducir si existe conexión entre el río y el acuífero sobre el que fluye, y de ser así, qué flujos de agua se están produciendo. El procedimiento utilizado para cada tramo será la restitución del hidrograma.

Además se pretende conocer el comportamiento en régimen natural trabajando con aquellos datos anteriores a 1970. Y asimismo valorar las afecciones sobre el sistema mediante el análisis de las diferencias entre el periodo anterior a 1960 y posterior a 1990.

Dados los objetivos anteriores, se presta especial atención sobre las zonas potencialmente más importantes, como son los tramos medio y bajo del Duero, y aquellos cauces significativos que pudieran estar en contacto con el acuífero terciario. Estos son el río Esla, el Valderaduey, los tramos altos del río Pisuerga y sus afluentes, los ríos Riaza y Duratón, y los ríos ubicados en la margen izquierda del Duero, los ríos Cega, Eresma, Adaja, Guareña, Zapardiel, Trabancos y Tormes.

El análisis por tramos consiste en la interpretación del comportamiento de un determinado tramo de río acotado por dos o más estaciones de aforo, mediante la diferencia entre los valores de caudal mensuales

aforados en la estación aguas arriba y los aforados en la estación que delimita el tramo aguas abajo. En régimen no influenciado, un tramo donde la diferencia sea negativa implica que por la estación aguas arriba pasa más caudal que por la de abajo, y por lo tanto, que a lo largo de ese tramo el río se comporta como perdedor. En el proceso contrario el río se comporta como ganador.

Los caudales aforados aguas abajo dependen de los caudales registrados en la estación aguas arriba, el drenaje o infiltración con el acuífero, la aportación superficial de la cuenca comprendida entre las dos estaciones de aforo y las derivaciones o retornos de caudal para diversos usos. Así pues, aplicando el balance de conservación de agua, la ecuación de restitución para el tramo es la siguiente:

**Caudal Af. ag. Abajo =**

$$= \text{Caudal Af. ag. Arriba} + \text{Escorrentía Superficial} \pm \text{Deriv. /Retornos} \pm \text{Drenaje/Filtración Acuíferos}$$

Para poder calcular el sumando correspondiente al drenaje/filtración de acuíferos, se necesita conocer, dimensionar y aislar el resto de entradas y salidas en la cuenca.

Para descontar el sumando correspondiente a la escorrentía superficial se ha optado por trabajar solo con los datos de los meses de verano, Julio, Agosto y Septiembre, bajo la hipótesis de que la aportación superficial en ese periodo es muy baja, y de esta manera se elimina el problema de separar el hidrograma.

Las derivaciones y retornos, al contrario que la escorrentía superficial, son máximas en verano, además no se dispone de datos medidos de suministros. Por ello se ha optado por considerar su valor aproximado deducido de las asignaciones actuales. Una vez identificados todos los usos del agua que pueden alterar el régimen de caudales de un tramo, se ha estimado su valor neto sumando las derivaciones y restando los retornos.

Finalmente, para interpretar los resultados se ha diseñado un gráfico en el que se representa las 3 series anuales de ganancia del tramo para cada mes seleccionado (junio, julio y agosto) en unidades de hm<sup>3</sup>/mes. Esta ganancia se calcula mediante la expresión de

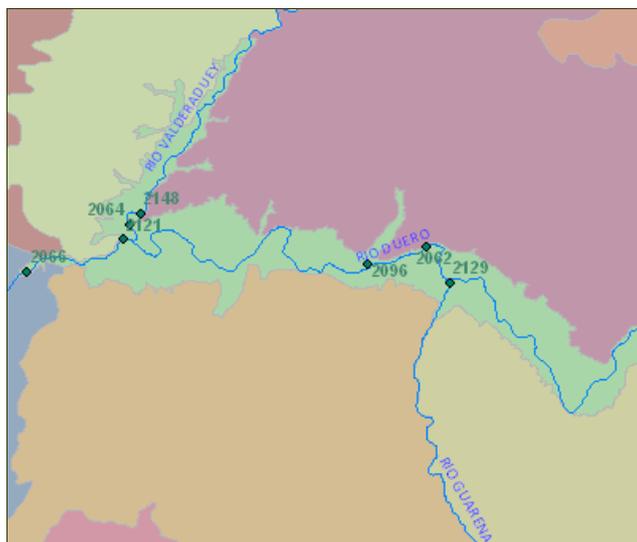
$$(\pm \text{Drenaje/Filtración Acuíferos} \pm \text{Derivaciones/Retornos}) = \text{Caudal Aforo ag. Arriba} - \text{Caudal Aforo ag. Abajo}$$

Donde: el sumando correspondiente a la escorrentía superficial se considera nulo (según se ha explicado antes); el sumando correspondiente a las derivaciones/retornos, dado que no se puede calcular una serie, se ha optado por no tratar de descontarlo, y se ha representado sobre el gráfico mediante una flecha con longitud igual al volumen neto mensual que se le ha calculado. De esta manera es fácil su interpretación, a la vez que no distorsiona la lectura de los resultados del balance.

Adicionalmente se ha de tener en cuenta el efecto que determinadas alteraciones pueden tener sobre el régimen de caudales, ya que se pueden malinterpretar los resultados. Principalmente la puesta en marcha de infraestructuras y derivaciones.

Del análisis por tramos de río destaca los resultados obtenidos para el tramo del cauce principal del Duero delimitado por las estaciones de aforo 2066, en Carrascal, y la 2062, en Toro. Cuando se habla de tramo final se hace referencia al último tramo en contacto con el acuífero terciario, ya que aproximadamente a partir de la EA 2066 el río circula por la MAS Aliste, de naturaleza semipermeable.

**Ilustración 4 Mapa de la zona donde se ubica el tramo 9 del río Duero.**

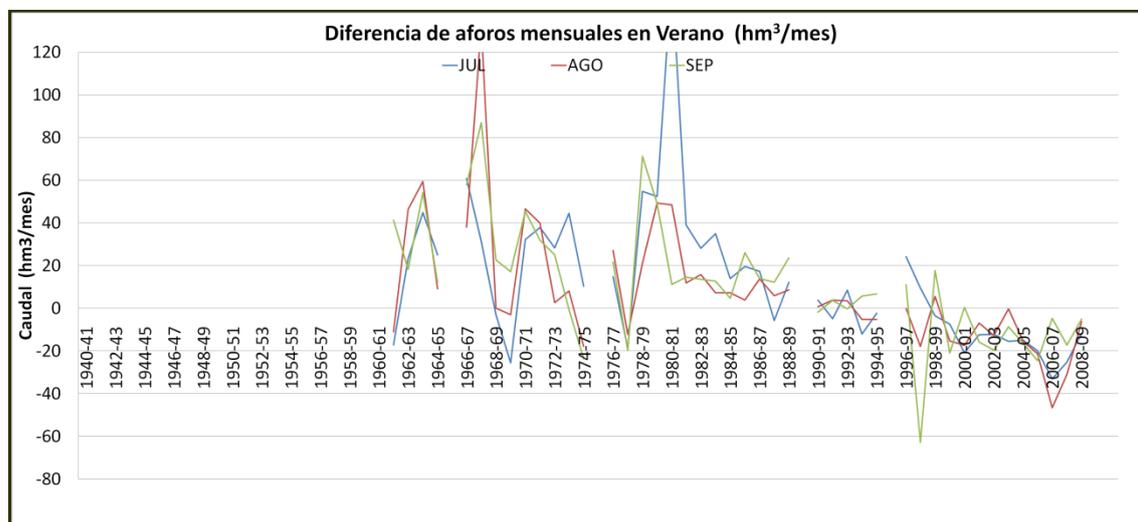


Entre las estaciones de aforo anteriores se ubican otras dos, la 2096 y la 2121, que no fueron utilizadas porque con las estaciones 2066 y 2062 se consigue una serie de datos mayor y además se abarca la

superficie deseada para completar el análisis del Duero sobre el acuífero terciario. La serie de datos entre las estaciones comienza en el año 1960 y finaliza en 2009. Las alteraciones del flujo causadas por los usos del agua superficial son inferiores a los 2 hm<sup>3</sup>/mes (valor no significativo en relación con el balance del tramo)

La figura siguiente muestra la diferencia de aforos mensuales de los meses de verano entre la estación de aforos 2062 en Toro y la 2066 en Carrascal.

**Ilustración 5 Diferencia de aforos mensuales de los meses de verano entre las estaciones de aforo 2066 y 2062 del río Duero**



En régimen natural se aprecia una primera etapa con valores oscilantes hasta aproximadamente el año 1981, donde el río se comporta como ganador, recibiendo entre 40 y 20 hm<sup>3</sup>/mes con ascensos y descensos bruscos que generan picos desde más de 100 hm<sup>3</sup> hasta - 20 hm<sup>3</sup>/mes.

En la segunda etapa la tendencia es descendente hasta la actualidad, se pasa de un rango entre 20 y 40 hm<sup>3</sup> a valores entre -10 y -30 hm<sup>3</sup>. Esta diferencia indicaría un descenso en la descarga del acuífero al río en torno a los 500 hm<sup>3</sup>/año

Un análisis similar se ha realizado para todos los tramos de río que ha sido posible aislar con resultados diversos. La tabla siguiente muestra un resumen con los resultados del análisis de aforos. Los valores negativos implican pérdidas en el río y los positivos ganancias.

**Tabla 2: Resultados del análisis de aforos, en hm<sup>3</sup>. Los valores negativos significan pérdidas, los positivos ganancias.**

Río	Afluente	Tramo	EA Aguas Arriba	EA Aguas Abajo	Serie de datos	Régimen Natural (máx/mín)	Régimen Actual (máx/mín)
DUERO	Duero	1	2101_Molinos de Duero	E_2001_Cuerda del Pozo (E)	1959-2007		-
		2	E_2001_Cuerda del Pozo (S)	2002_Garray	1947-2007	120	120
		3	2002_Garray	2004_Gormaz	1930-2007	120	120
		4	2004_Gormaz	2013_Aranda	1973-2007	-50	-50
		5	2013_Aranda	2132_Quintanilla	1977-2007	-	120
		6	2014_Peñañiel	2015_Herrera	1940-1975	-	-
		6b	2132_Quintanilla	2015_Herrera	1977-2007	-	-
		7	2015_Herrera	2054_Villamarciel	1940-2007	480 / 0	240 / -240
		8	2054_Villamarciel	2062_Toro	1941-2007	120 / -360	240 / -240
9	2062_Toro	2066_Carrascal	1941-2010	480 / 180	-180 / -360		
PISUERGA	Pisuerga	1	2029_Cordovilla	2043_Cabezón	1941-2007	60	60
		2	2133_Herrera de Pisuerga	2029_Cordovilla	1987-2007	120	120
		3	2024_Alar del Rey	2133_Herrera de Pisuerga	1987-2007	-120	-120
		5	2106_Requejada	2020_Aguilar de Campoo	1962-1996	-120	-120
		4	2020_Aguilar de Campoo	2024_Alar del Rey	1953-2008	-50	-50
	Arlanza	1	2030_Covarrubias	2031_Peral de Arlanza	1940-2007	60	60
		2	2028_Castrovido	2030_Covarrubias	1960-2007	-	-
	Arlanzón	T2	2032_Villasur	2116_Villavieja	1979-2007	-	-
		T1	2116_Villavieja	2036_Quintana del Puente	1976-2007	-60	-60
	Carrión	2	2134_Guardo	2040_Villodo	1940-2007	-120	-120
		3	2108_Camporedondo	2134_Guardo	1937-2007	-	-
		1	2040_Villodo	2042_Palencia	1940-2007	-	-
	Esgueva	1	2049_Cabñes de Esgueva	2044_Valladolid	1946-2007	-	-
ADAJA	Adaja	1	2046_Ávila	2056_Valdestillas	1932-2007	-	-
		1b	2046_Ávila	2056_Valdestillas/2053/2047	1968-2007	-	-
GUAREÑA	Guareña	1	2128_Vadillo	2129_Toro	1976-2007	-	-
DURATÓN	Duratón	3	2012_Sepúlveda	E_2037_Burgomillodo	1968-2007	-	-
		2	E_2037_Burgomillodo	E_2040_Las Vencias	1969-2007	-50	-50
		1	E_2040_Las Vencias	2130_Peñañiel	1976-2007	-	-
RIAZA	Riaza	1	2009_Riaza	E_2036_Linares del Arroyo	1952-2007	-	-
ESLA	Esla	1	2074_Castropepe	2095_Breto	1943-2005	-	-
		2	2071_Benamariel	2074_Castropepe	1943-2005	-	-
		3	2067_Riaño	2071_Benamariel	1943-1973	-	-
	Cea	1	2104_Almanza	2143_Castrobol	1976-2008	-60	-60
VALDERADUEY		1	2126_Villárdiga	2148_Mixto(Villagodio)	1976-2007	-	-



### 3. BALANCE.

Se aborda el estudio del balance del conjunto de acuíferos detríticos como algo fundamental para la comprensión del funcionamiento de su funcionamiento, y para analizar el resto de términos que intervienen en el mismo, cuyo conocimiento y estimación está asociada a gran incertidumbre.

Uno de los aspectos importantes que aborda este balance, es la afección de la descarga a los ríos, consecuencia de las fuertes extracciones subterráneas. Las extracciones más intensas están localizadas en torno a las MAS Los Arenales, Medina del Campo, Tierra del Vino, Tordesillas y Terciario detrítico, principalmente en los estratos más profundos de éstas.

No obstante, si bien los análisis manifiestan que la afección de los bombeos se hace notar sobre los tramos finales de los ríos de la vertiente Oeste (Guareña, Zapardiel, Trabancos, Adaja y Cega), el análisis por tramos muestra que son los tramos finales del Duero los que más se ven afectados por estas extracciones. El hecho de que la afección se refleje principalmente en el tramo final del Duero, siendo éste la principal zona de descarga, invita a pensar que la afección no es solo consecuencia de los bombeos de esta zona central, sino que la mayoría de los bombeos que tengan una profundidad considerable probablemente se manifiesten en tramos aguas abajo de los mismos.

#### 3.1. Régimen natural

En un hipotético régimen natural las entradas del sistema son iguales a las salidas del mismo, respondiendo a un proceso estacionario. Esta igualdad puede verse alterada por las variaciones en el almacenamiento del acuífero, que dado que es un acuífero de gran extensión, incluso en régimen natural puede sumar un volumen muy importante con duración de varios años. Esto también contribuye a dificultar el cálculo de un balance medio en régimen natural.

La recarga subterránea por infiltración de agua de lluvia se obtiene del modelo SIMPA. Los datos de transferencias laterales fueron obtenidos de trabajos previos. Los términos de filtración y drenes a cauces se estimaron mediante el análisis por tramos. No cabe considerar bombeos en este caso por estar en el escenario de régimen natural, donde no existen este tipo de acciones externas.

Conforme a los resultados del análisis por tramos, se estimaron los siguientes intercambios de agua con el acuífero terciario a través de los cauces:

En el río Carrión se infiltran aproximadamente 120 hm<sup>3</sup> anuales, y en el tramo alto del río Pisuerga alrededor de 290 hm<sup>3</sup> anuales, de los cuales 120 hm<sup>3</sup> anuales drenan aguas abajo. Además, en el río Arlanza se produce un pequeño drenaje de unos 60 hm<sup>3</sup> anuales. En total, alrededor de 200-250 hm<sup>3</sup> anuales se infiltran por los cauces del Pisuerga y sus afluentes.

En el río Cea se produce una infiltración de aproximadamente 60 hm<sup>3</sup> anuales.

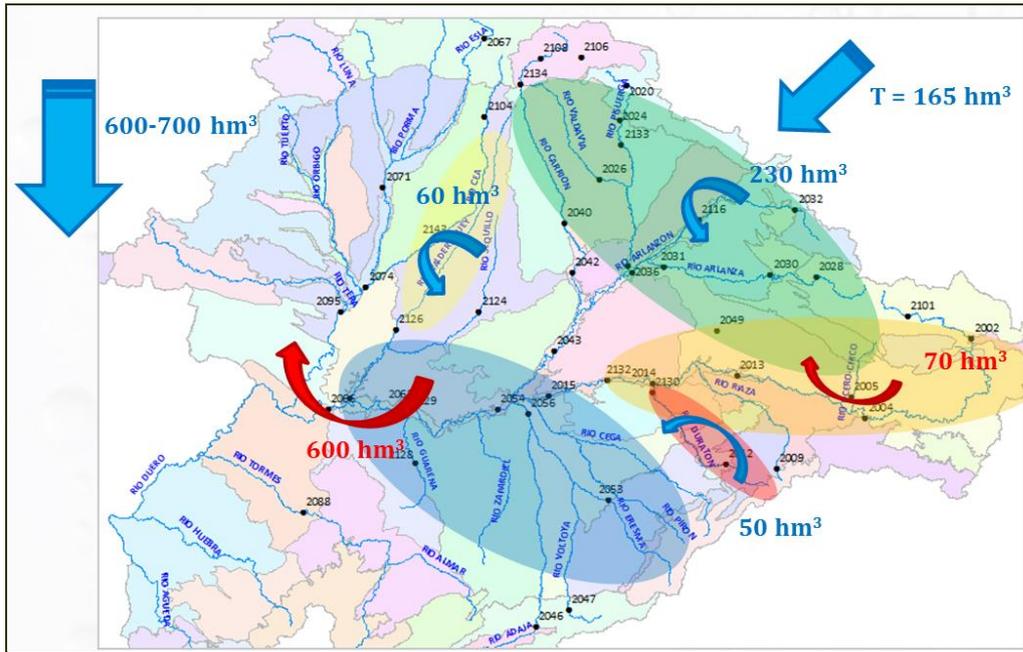
En el tramo alto del río Duero se drenan bajo el embalse de Cuerda del Pozo unos 120 hm<sup>3</sup> anuales, de los cuales infiltran prácticamente la mitad antes de la estación 2004 en San Esteban de Gormaz.

En el río Duratón se infiltran alrededor de 50 hm<sup>3</sup> anuales en el tramo ubicado entre los embalses. En los ríos Guareña y Adaja no se ha visto una descarga significativa. En la parte media del río Duero, en el tramo entre las estaciones 2015 y 2054 (que contienen a su vez a los ríos Cega y Pirón), se produciría una ganancia de entre 240 y 360 hm<sup>3</sup> anuales en periodos húmedos, que queda reducida prácticamente a cero en periodos secos. En el tramo siguiente, hasta la estación 2062 el río se comporta de forma irregular, pudiendo ganar alrededor de 120 hm<sup>3</sup>/año al comienzo de la serie.

Con respecto a la infiltración de lluvia, a lo largo de la serie los valores de infiltración no han sido constantes, y su variación ha de ser tenida en cuenta de cara al establecimiento del balance. Las cifras oscilan entre 857 hm<sup>3</sup>/año en periodos secos y 1446 hm<sup>3</sup> /año en periodos húmedos. El valor promedio es aproximadamente 1230 hm<sup>3</sup>/año, con máximos superiores a 3000 hm<sup>3</sup> anuales y mínimos que llegan a 200 hm<sup>3</sup> anuales. De estas cifras habría que distinguir la parte que recarga las capas superiores de los acuíferos y drena al río en los meses siguientes que puede ser de un 50%, de la parte que percola al acuífero profundo y puede sumarse como recurso disponible a efectos de disponibilidad para los bombeos y el mantenimiento de niveles piezométricos.

La figura siguiente sintetiza a grandes rasgos las cifras indicadas anotándose en azul las entradas al acuífero y en rojo las salidas.

**Ilustración 6 Balance general del acuífero en régimen natural.**

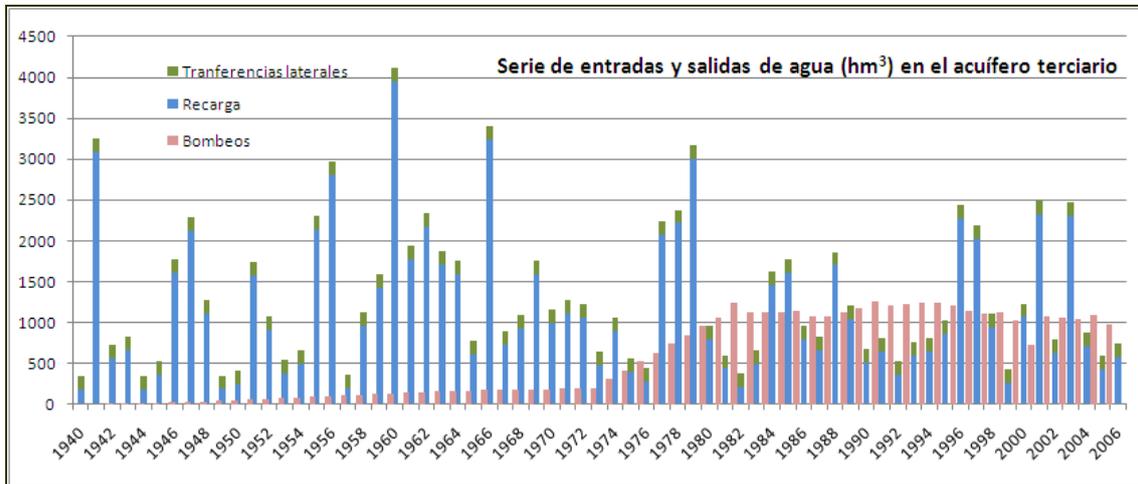


**3.2. Régimen alterado.**

Como ya se ha indicado en el apartado correspondiente a las extracciones, es complejo determinar la evolución de las extracciones en el tiempo, estando estas sujetas a una alta variabilidad. En consecuencia tampoco se puede identificar un régimen permanente asociado a la explotación del acuífero puesto que esta ha sufrido significativas variaciones a lo largo del tiempo.

La figura siguiente muestra la serie de extracciones conjuntamente con las entradas al acuífero en concepto de infiltración por agua de lluvia y transferencias laterales. Se aprecia como a partir del año 1980 las extracciones superan a la recarga de lluvia.

**Ilustración 7 Serie de entradas (infiltración por agua de lluvia y transferencias laterales) y extracciones en el periodo 1940-2006.**



En el apartado de piezometría se pusieron de manifiesto fuertes descensos en una parte de las MAS de la zona. Los descensos se aprecian en el periodo 1972-2000, principalmente en las MAS ubicadas en la zona central, donde se concentran la mayoría de las extracciones.

Fuera de esta zona se pueden apreciar descensos de menor entidad en la zona inferior de la MAS Tierra de Campos (por debajo de 735 m.s.n.m.), y también en las MAS de Villafáfila y Ayllón. Los descensos de las MAS Villafáfila y Tierra de Campos tienen origen en los bombeos que se dan en las propias MAS, bastante concentrados en las zonas más bajas de las mismas.

Otro de los fenómenos ocasionados por las extracciones es la desconexión de cauces. El descenso de niveles en esta zona central provoca que se pierda el contacto entre el río y el nivel freático del acuífero. Este hecho se pone de manifiesto en varios trabajos anteriores. El caso más conocido es el de los ríos

Zapardiel y Trabancos, cuyo caudal estival era de componente subterránea. Se produjo la desconexión de los mismos cuando los niveles comenzaron a descender a raíz de los bombeos.

Es de destacar también la disminución de extracciones en los últimos años. La cual se manifiesta en el registro de muchos piezómetros, que cesan en su descenso e incluso aumentan los niveles. Es complicado explicar correctamente este fenómeno porque no se disponen de muchos registros de suficiente longitud, ya que gran parte de los piezómetros dejan de medir a partir del año 2002. La estabilización de los niveles se aprecia en las MAS Medina del Campo, Los Arenales, Tordesillas, el acuífero profundo bajo los páramos y en algunos piezómetros de la MAS Tierra de Campos.

Después del periodo de estabilización de niveles, en algunos casos comienza un periodo de ascenso, aproximadamente sobre 2004-2005. La magnitud de estos ascensos es variable, y oscila entre los 5-10 metros que registran varios piezómetros de la zona de Tordesillas y los páramos, hasta más de 20 m que se registran en la MAS Medina del Campo.

En líneas generales, los ascensos parecen mayores en aquellas zonas donde los bombeos han sido intensos (y aparentemente mayores aún en profundidad), lo cual parece lógico si se trata de una respuesta a la disminución de las extracciones. No obstante, no se puede afirmar con certeza lo anterior pues el conocimiento en detalle de la evolución de los bombeos es insuficiente.

La estabilización de los descensos, y el posterior ascenso de niveles, no implica una recuperación del sistema, simplemente son una respuesta a la modificación de una acción externa, pero el proceso no parece haberse estabilizado. De hecho, aunque los niveles en algunas MAS comiencen a ascender, parece que lo más probable es que las extracciones no se hayan manifestado por completo, dado que el análisis de aforos en el tramo final del río Duero continúa siendo descendente. Aunque lo más probable es que los niveles se estabilicen en una cota cercana a la actual, también es posible que lo hagan en un nivel más alto o más bajo que el actual; depende de cómo ha cambiado en la realidad la distribución espacial de los bombeos.

Según los datos, desde que se produce el gran desarrollo de los bombeos hasta la actualidad (periodo 1980-2009) se ha producido una variación media anual del almacenamiento de aproximadamente - 120 hm<sup>3</sup>/año durante 29 años, lo cual implica una disminución del almacenamiento del acuífero total de alrededor de 3000-3500 hm<sup>3</sup>.

### 3.3. Situación actual y tendencia

Para el análisis del escenario actual la situación es compleja a consecuencia de una evolución histórica de extracciones e incluso de recarga natural muy variable. De cara al planteamiento del balance, al no haber cesado las extracciones (acción externa) y haber existido modificaciones en la intensidad de las mismas hasta la actualidad, no se puede hablar de un proceso estacionario sino transitorio. Se pretende profundizar en la discusión anterior por medio del planteamiento del balance en el escenario actual y considerando las previsiones futuras.

Según este balance, en la actualidad se estaría produciendo una pequeña recuperación del acuífero que se justifica en la disminución de las extracciones en los últimos años y se manifiesta en los análisis de piezometría. El valor de la variación del almacenamiento es muy dependiente de las extracciones, de considerar un valor de extracciones mayor al estimado, la recuperación del almacenamiento sería más lenta o incluso nula, dependiendo del margen en que aumenten.

Dado que los resultados muestran que el acuífero está reaccionando a estas modificaciones en la cifra de bombeos, hasta llegar de nuevo a una situación estacionaria sería necesario que se estabilicen las extracciones y termine de manifestarse el efecto de éstas. A partir de entonces se podría hablar de una situación de nuevo equilibrio sostenible del sistema, que se manifestará por medio de la estabilización de los niveles piezométricos, y de una situación de intercambio a través de los cauces.

Este nuevo equilibrio será diferente al que existía en régimen natural. Los niveles se estabilizarán pero no en los mismos niveles del régimen natural, sino en los niveles correspondientes a la nueva situación, determinada por el equilibrio entre el estado inicial del acuífero y las acciones externas sobre el mismo, como son la recarga y los bombeos.

En el caso de las relaciones del acuífero con los ríos ocurre lo mismo. Cuando se establezca la cifra de bombeos y termine de manifestarse el efecto de éstos, los niveles se estabilizarán y se establecerá un nuevo escenario de conexiones con los ríos que determine el funcionamiento del sistema.

Como también se ha expuesto, debido a la gran extensión de este acuífero, los niveles en el mismo pueden también sufrir significativas variaciones debidas a la variación natural en la recarga de lluvia.